

锦屏二级水电站压力钢管选用600 MPa级高强度钢板焊接接头冲击韧性影响因素分析

毛勇

(葛洲坝集团第二工程有限公司,四川成都 610091)

摘要:目前国内大中型水电站压力钢管多选用600 MPa级调质高强度钢。通过采用焊条电弧焊对B610CF高强度钢板进行焊接试验,对焊接线能量的大小及其对焊缝金属组织和热影响区性能的影响进行了探讨,为锦屏二级水电站压力钢管的焊接提供了最佳的焊接线能量范围和焊接工艺参数。

关键词:600 MPa级高强度钢;焊接线能量;工艺参数;冲击韧性;影响因素;锦屏二级水电站

中图分类号:TV7;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2013)02-0041-03

焊接线能量是影响焊接接头(接头组织、力学性能)质量的基本工艺参数。选择线能量的大小不仅与焊接方法、焊接材料、焊接技术要求、工艺参数等有关,更主要的是考虑到了焊接热影响区的组织力学性能及抗裂性能的综合平衡。焊接线能量对焊接接头的力学性能尤其是冲击韧性影响很大,对于调质状态使用的低合金高强度钢而言,这种影响将更为显著。笔者就锦屏二级水电站压力钢管使用600 MPa级高强度调质钢(B610CF)板材的现场施工情况以及焊接影响因素进行了分析,以期对今后现场施工起到一定的借鉴作用。

1 锦屏二级水电站压力管道工程

锦屏二级水电站共布置8条高压管道,每条高压管道下平段压力钢管在距厂房上游侧边墙2.38 m处(压力钢管末端)往上游方向的28.8 m段采用600 MPa级高强度钢板,材质为B610CF,该段钢管内径为6.05~6.5 m,板厚为56~40 mm,设计压力为2.58 MPa。

B610CF钢属于低焊接裂纹敏感性、低合金高强度钢,此类钢的合金化原理是在低碳的基础上,通过加入合金元素并通过调质处理获得强度高、韧性好的低碳马氏体和低碳贝氏体的混合组织。当采用大线能量焊接时,低碳低合金调质钢冷却时间 $t \geq 5$ (熔合线附近的点由800℃冷却至500℃的时间)过长会导致奥氏体晶粒粗化以及上贝氏体的生成,从而引起过热区的脆化,使冲击韧性明显下降。

理论上讲,通过采取预热、控制层间温度、后热以及严格控制焊接线热量等工艺措施可以有效保证材料的冲击韧性指标。而在实际施工中,这些措施和工程需求往往会发生冲突。比如,焊接线能量过低,相对而言更容易产生焊接缺陷,同时工作效率降低,工人劳动强度加大,与施工工期要求会发生矛盾。因此,有必要在最大限度满足对焊接接头冲击韧性要求的同时,兼顾施工现场实际情况,对影响因素进行进一步分析,以保质保量地完成施工任务。

参加本次压力钢管焊接的焊工均长期从事压力钢管焊接工作,操作经验丰富,底片合格率亦很高,在长期从事16 MnR等材质的焊接中,养成了大线能量焊接的习惯,但其对于调质低合金高强度钢材的焊接特性知之甚少。因此,在进行压力钢管制作纵缝和安装环缝焊接之前对他们进行了基本理论和实际操作的培训并进行了考核。笔者通过对考核试板以及随后进行的压力钢管的生产试板焊接情况及冲击试验结果进行了分析,力求找出主要影响因素。

2 钢板及焊材

钢板的力学性能(产品质量证明书)及其复验数据见表1。产品试板由利用每种板厚用于制作管节的加长板的边角余料制取,所有钢板均按照标准规范进行了复验,冲击功平均值均在200 J以上。B610CF钢板配套选用的焊条为四川大西洋焊接材料股份有限公司生产的、牌号为CHE62CFLH、直径为3.2 mm和4 mm的焊条。

收稿日期:2013-03-20

焊条质保书及复验提供的力学性能数据见表 2。 范,均具有很高的冲击韧性储备量。

从表 2 可知,钢板及焊材完全满足相应的标准规范,均具有很高的冲击韧性储备量。

3 焊工考核试板及产品试板冲击功试验

表 1 钢板力学性能表

牌号	炉批号	拉伸试验			冲击试验			备注	
		R_{eL}/MPa	R_m/MPa	$A/\%$	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	冲击吸收能量/ J			
B610CF	428821	598	664	21	-20	310	318	307	质保书
		625	680	25	-20	276	280	300	复验值
B610CF	426412	639	691	22	-20	275	221	212	质保书
		565	645	21	-20	266	260	270	复验值

表 2 焊条力学性能(摘录)表

牌号	拉伸试验			冲击试验			备注	
	R_{eL}/MPa	R_m/MPa	$A/\%$	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	冲击吸收能量/ J			
CHE62CFLH	560	655	25	-20	119	98	105	质保书
	550	650	25	-20	105	90	95	复验值

3.1 考核试板焊接工艺

所有焊工经过基本理论和实际操作培训后均进行了考核,考核试板采用立焊方式垂直放置,尺寸为 300 mm × 150 mm。焊接时环境温度为 25 $^{\circ}\text{C}$ ~ 35 $^{\circ}\text{C}$,环境湿度为 35% ~ 65%,预热温度为

120 $^{\circ}\text{C}$ ~ 150 $^{\circ}\text{C}$ 。不同的组别有不同的层间温度要求,焊后均没有进行消氢热处理,主要焊接工艺参数见表 3。坡口形式、组对间隙等均符合设计图样要求。

3.2 考核试板的结果及分析

表 3 立焊考核试板焊接工艺参数表

焊条直径 /mm	焊接电流 /A	焊接电压 /V	预热温度 / $^{\circ}\text{C}$	层间温度 / $^{\circ}\text{C}$	焊接线能量 / $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$
3.2	100 ~ 120	21 ~ 23	≥ 120	120 ~ 200	15 ~ 40
4	140 ~ 160	23 ~ 26	≥ 120	120 ~ 200	15 ~ 40

3.2.1 考核试板分组

共有 28 人参加了试板考核,为了进行对比并积累数据,将考核分成为 3 组。第 1 ~ 3 组焊工人数分别为 8 人、10 人、10 人。

(1)第 1 组。为了更好地模拟压力钢管焊接的实际情况,对 8 名焊工不做要求,仅对其焊接工艺参数进行记录,对考核试板也仅进行了 -20 $^{\circ}\text{C}$ 冲击试验。

(2)第 2 组。要求焊工严格执行焊接工艺,但对层间温度不做要求,要求焊工连续完成试板的焊接。

(3)第 3 组。要求焊工严格执行焊接工艺,同时必须保证层间温度不超过 200 $^{\circ}\text{C}$ 。由于试板尺寸较小,温度下降慢,因此,焊工每焊完一层,须停焊一段时间,待层间温度降到 200 $^{\circ}\text{C}$ 后再重新施焊。

3.2.2 各组试板结果及分析

对 3 组试板进行的记录显示,第 2 ~ 3 组焊接电流、速度基本符合要求,电流最大值均在 160 A 以内,第 1 组的焊接电流偏大,个别甚至达到 185 A 左右,且焊接速度低。第 1 ~ 第 2 组的层间温

度因不进行控制,实际测量值均在 230 $^{\circ}\text{C}$ 左右。

根据所记录的不同焊接工艺参数值,从每组中各选 2 块具有代表性的焊接试板制取冲击试样进行冲击韧性试验,试验结果见表 4,表 4 中的数据为 3 个冲击功的平均值。

从试验记录的单个数值中可以得出:第 1 组焊缝最低值为 34 J,最高值为 45 J,热影响区(HAZ)最低值为 40 J,最高值为 48 J;第 2 组焊缝最低值为 43 J,最高值为 52 J,热影响区(HAZ)最低值为 46 J,最高值为 55 J;第 3 组焊缝最低值为 75 J,最高值为 86 J,热影响区(HAZ)最低值为 87 J,最高值为 116 J。

表 4 试板冲击韧性试验结果表(平均值)

项目	组 别						
	第 1 组		第 2 组		第 3 组		
试验编号	01	02	01	02	01	02	
A_{KV} (J)	焊缝区	40	36	50	46	83	78
	HAZ	46	43	52	48	88	112
焊接线能量 / $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$	45 ~ 55		25 ~ 40		15 ~ 35		
试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	-20		-20		-20		

从表 4 中可以看出,大线能量焊接以及不控制层间温度,则 -20 $^{\circ}\text{C}$ 冲击功值很低(第 1 组数

据)。严格执行焊接工艺却不控制层间温度,则对焊缝的冲击韧性影响也很明显(第2组数据)。只有严格执行焊接工艺,同时严格控制层间温度,才能得到令人满意的冲击韧性(第3组数据)。

从表4中还可以看出:焊条电弧焊时,线能量的最佳范围为15~35 kJ/cm,在此范围内其冲击韧性在-20℃时为75 J以上;当线能量大于45 kJ/cm时,其冲击韧性降至47 J以下。

600 MPa级高强钢压力钢管严格按照第3组工艺要求完成焊接,工期略有增加,焊工单位时间的劳动强度也略有提高,但由于严格限制了焊接线能量,焊接质量得到了有效保证,这一点从产品试板的性能检验结果中得到了进一步证实。同时,由于线能量选择范围的合理性,对焊接操作并没有增加太大难度,最终压力钢管的X射线检测底片合格率均很高。

3.3 产品试板结果及分析

产品试板的制备按照有关标准进行。由质检部门随机抽取的焊工完成600 MPa级高强钢压力钢管各种板厚产品试板冲击功值中可以看出:焊缝最低冲击功为46 J,最高为78 J;热影响区(HAZ)最低为65 J,最高为95 J。

从以上分析结果可以看出,只要严格执行焊接工艺,焊接接头的冲击韧性是完全能够得到保证的。

4 线能量对焊缝质量的影响

B610CF钢在工厂内经高温淬火+回火后提高了钢的强度。焊接时,小的线能量较好,但过小会影响焊接速度,增加焊工的劳动强度。钢管除纵缝在钢管厂现场拼焊外,环缝则全部在隧洞内组装后焊接,几乎全靠焊条电弧焊完成,故线能量不宜过小。一般焊工喜欢偏大些,这样能提高焊接速度。但线能量过大会影响焊接接头的性能,即焊缝、熔合线和热影响区的冲击韧性和硬度降低,进而影响到压力钢管的安全运行。故线能量不宜过大,焊缝不宜过宽,一般手工焊时,焊缝宽度为焊条直径的3倍多,即 $3 \times \varphi + 3 \sim 5$ (mm), φ 为焊条直径。

通过试验可知,B610CF钢焊接热影响区的粗晶区(熔合区)的韧性随线能量的增加会出现粗大的上贝氏体组织,使接头的韧性降低。因此,焊接线能量的大小必须控制。

5 分析与讨论

5.1 高强钢焊接线能量的确定

焊接线能量的确定主要取决于过热区的脆化和冷裂两个因素。对B610CF调质钢而言,由于其淬硬倾向增加,随着线能量的减少,过热区的冲击韧性不是提高而是降低并易出现延迟裂纹,故焊接线能量不宜过小。单层焊时,焊接线能量以手工焊小于40 kJ/cm为宜,但实际厚板焊接由于采用了多层多道焊,层道之间能对焊缝起退火作用,故在实际的压力钢管焊接过程中,焊接线能量取上限是可行的。

5.2 线能量对焊缝及近缝区组织性能的影响

焊接线能量的大小直接影响到焊接接头组织的性能。B610CF调质钢对热影响区的线能量比较敏感,即小的线能量会产生低碳马氏体,对韧性无明显的破坏作用,但高碳马氏体会使脆性转变温度升高。当线能量达到25 kJ/cm时,会得到下贝氏体或B1型贝氏体,可以获得最佳的韧性效果,脆性转变温度最低。当焊接线能量升高到35 kJ/cm时,会出现上贝氏体。由于多层多道焊的热循环作用,后一道焊缝对前一道焊缝的正火作用,细化了晶粒,在粗晶区未见到M-A组元的脆化作用,韧性也较好。当线能量升高到45 kJ/cm以上时,近缝区组织转变为上贝氏体,向F+P变化,对韧性则不利。晶粒粗大,可能会出现M-A组元。当线能量加大到55 kJ/cm以上时,会转变成铁素体和粗大的珠光体,形成过烧,产生魏氏组织等,发生脆化现象,对韧性不利。因此,对热影响区的焊接线能量必须控制。

6 结语

(1)大中型水电站压力钢管选用B610CF调质高强钢,强度高,韧性好,焊接性能好。焊接线能量必须控制,不能过大,也不宜过小。

(2)层间温度对焊接接头的冲击韧性影响很大,当层间温度超过200℃时,焊接接头特别是焊缝的冲击功值下降非常明显。因此,对于调质钢,控制层间温度是非常必要的。

(3)为保证锦屏二级水电站压力钢管的焊接质量,在进行焊接工艺评定及焊接工艺规范的制定时,应综合考虑热影响区的组织力学性能,选择最佳的焊接线能量。为提高焊接生产率,降低成本,保证接头质量,手工焊 $E_{线} \approx 15 \sim 40$ kJ/cm最为合适。

作者简介:

毛勇(1968-),男,湖北荆州人,项目副总工程师,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)